

İstanbul’da tüketilen ticari ve şebeke bazlı içme sularının kimyasal ve spektroskopik profilleri

Şerif Altan SÜPHANDAĞ, Ceyda Senem UYGUNER, Miray BEKBÖLET*

Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, Hisar Kampüsü, Bebek, 34342, İstanbul

Özet

İstanbul ili, gerek kültürel gerekse ekonomik anlamda Türkiye’nin çekim merkezi olmasının bedelini ağır ödemektedir. Şehrin aldığı yoğun göçlere bağlı olarak oluşan düzensiz kentleşme ve beraberinde getirdiği altyapı sorunları, şebeke suyu kalite parametrelerinin devamlılığını son derece güç hale getirebilmektedir. Bu çalışmada, İstanbul geneline içme suyu sağlayan su kaynaklarını temsil niteliğinde şehrin farklı bölgelerinden rastgele alınan su örnekleri incelenmiş ve yine şehir genelinde içme suyu alternatifi olarak satılmakta olan bazı şişe suları genel kalite parametreleri ile karşılaştırılmıştır. Kimyasal özellik açısından başta tüm örnekler için toplam organik karbon (TOK) ve çözünmüş organik karbon (ÇOK) değerleri olmak üzere, sertlik, iletkenlik, pH değerleri incelenmiş her iki kaynağa ait su örnekleri için de, spektroskopik bulguları doğrular nitelikte değerlerle karşılaştırılmıştır. Tüm su örneklerinin UV/görünür bölge spektrumlarına ek olarak floresans spektroskopik özellikleri emisyon ve senkron taramalı emisyon spektroskopisi teknikleri uygulanarak incelenmiştir. Örneklerin UV/görünür bölge spektrumlarına bakıldığında, şişe sularının ultraviyole bölgede organik maddelere işaret eden dalga boylarındaki absorpsiyon (soğurma) değerlerinin şebeke sularına oranla yaklaşık yarı yarıya düşük değerde olduğu gözlenmiştir. Şebeke sularının emisyon floresans spektrumlarında ise belirleyici pikler gözükmemekle birlikte, spektrumların genel görüntüsü doğal organik madde bazlı bileşenlerin varlığını işaret eden konturlar vermiştir. Buna karşın senkron taramalı emisyon spektrumlarında yine organik maddelere işaret eden farklı pik değerleri gözlenmiştir. Şişe sularının floresans spektroskopisiyle elde edilen gerek emisyon gerekse senkron taramalı spektrumlarının ise şebeke suları için elde edilen profillerle karşılaştırılabilir düzeyde oldukları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Şebeke suyu, şişe suyu, ÇOK, TOK, UV/görünür bölge ve floresans spektroskopisi.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Miray BEKBÖLET. bekbolet@boun.edu.tr; Tel: (212) 359 70 12.

Makale metni 04.05.2007 tarihinde dergiye ulaşmış, 13.06.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.10.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

The spectroscopic and chemical profiles of commercial and network based drinking waters that are consumed in Istanbul

Extended abstract

The term drinking water can be briefly defined as all water distributed by any agency or individual, public or private sector, for the purpose of human consumption or which may be used in the preparation of foods or beverages or for the cleaning of any utensil or article used in the course of preparation or consumption of food or beverages for human beings. The term "drinking water" also contains the concept that of all the water available for human consumption or used by any institution catering to the public.

The municipal drinking water reaches the end-user, through numerous treatment processes covering disinfection, filtration, and chlorination at source with each complying with the current drinking water standards. However, within the process of treatment, mishaps occurring in the infrastructure, i.e. broken or cracked pipes in the network, seepage from wastewater network, can cause detrimental effects on the quality of drinking water. In the recent years İstanbul Water and Wastewater Association (İSKİ) has began taking water samples near 400 points throughout İstanbul and started replacing the existing old pipes with ones manufactured with the newest technologies providing utmost insulation. The safety limit values for drinking water parameters are assigned by Turkish Institute of Standards, however in the last years further global standards for the safety of drinking water, i.e. United States Environmental Protection Agency (USEPA), European Community (EC), World Health Organization (WHO) have also started to be taken into consideration.

Considering the fact that İstanbul is one of the highest populated metropolises of the world, provision and maintenance of her drinking water needs and standards faced very big challenges in the last decades. This fact has promoted the commercial drinking water enterprises to rise, which required safety regulations as well.

The commercial bottled waters consumed throughout the city are far from being supplied from local sources due to the very high market share threshold in İstanbul. These waters in general have been bot-

tled following the catchments from the sources that are securely protected from anthropogenic pollution. Within the last years, non-spring waters that can fulfill sanitary requirements through rigorous treatment processes such as multiple filtration, uv-treatment, ozonation, and reverse osmosis have started to rank in bottled water market.

In this research, alongside commercial bottled waters, tap waters linked to different water reservoirs supplying water for İstanbul were sampled and analyzed in terms of their chemical and spectroscopic properties and their comparisons were presented in order to set a general profile.

The chemical properties of samples were monitored by measuring their total hardness, total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC) content, pH and conductivity, portraying a general outline of the water characteristics. These parameters kept accordance with the UV-vis spectral profiles. The organic content showed an intrinsic relation with the reported total trihalomethane (THM) values that are important in portraying the carcinogenic potential of disinfection by-products. Furthermore, rise of the peak heights were in correspondence with the arrangement of the samples according to their TOC values.

The spectroscopic properties were examined through the use of UV/vis and fluorescence spectroscopy. UV/vis spectroscopy in comparison with the commercial bottled water samples yielded approximately doubled absorbance values in the range of 200 – 235 nm range for tap waters. The respective specific UV absorbance values were reported in the range of 0.0179-0.544 L/mg cm for tap waters and 0.063-0.46 L/mg cm for bottled water samples. With its high resolution and peak differentiation, synchronous scan fluorescence spectroscopy yielded explanatory spectrums producing basic peaks at 280 and 356 nm that are most likely representing an organic based component in the tap water. On the other hand, the contourless spectrums reaching maximum at around 450 nm extracted from emission spectroscopy strongly resembled the natural organic matter spectrums adding to the findings of organic content in the sample.

Keywords: Tap water, bottled water, DOC, TOC, UV/vis, and fluorescence spectroscopy.

Giriş

Her birey için “temiz içme suyuna ulaşım” temel bir konudur ve insan haklarının en önemli olgusudur. İçme suyu dar anlamıyla, herhangi bir kurum ya da kişi tarafından insan tüketimi, yiyecek veya içecek hazırlanması, bu hazırlık ve tüketim aşamasında kullanılan her tür malzemenin temizliğinde kullanılması amacıyla tedarik edilen su olarak tanımlanabilir.

İçme suları kaynağında standartlara uygun dezenfeksiyon, filtrasyon, çöktürme, saflaştırma ve klorlama uygulamalarının ardından son tüketiciye kadar ulaşmaktadır. Ancak bu süreç içerisinde şebekeyi oluşturan elemanlarda oluşabilen aksaklıklar, isale hattında ve daha sonra şebeke boruları üzerinde meydana gelebilecek kırılma ve çatlaklar, içme suyunun kalitesini büyük ölçüde tehlikeye sokmaktadır. Son yıllarda, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) yaklaşık 400 noktadan numune alarak ve eskimiş boruları içi özel katkılı beton, dışı epoksi kaplı duktilfont borularla değiştirerek, arıtımın sürekliliğini artırıcı yönde önemli adımlar atmıştır. İçme sularıyla ilgili sınır değerler Türk Standartları Enstitüsü’nce belirlenen insani tüketim amaçlı suları kapsayan TS 266 (2005) nolu standart esas alınarak belirlenmektedir.

İstanbul’da 1950’lerden itibaren başlayıp artarak devam eden göç hareketleri, devlet ve belediyeler tarafından gerçekleştirilmiş içme suyu temini ile ilgili pek çok hizmeti olumsuz etkilemiş; büyük ya da küçük birçok projenin gerek yapılandırma aşamasını, gerekse akabinde standartlarını muhafaza etmesini son derece güç hale getirmiştir. Bu bağlamda İstanbul gibi bir megapolün içme suyu temini ve kalitesini korumak güçleştiği gibi, zaman içinde oluşan arz ve talep arasındaki dengesizlik, şişelenmiş içme suyu satışını son derece cazip bir pazar haline getirmiştir.

Doğal kaynak suları, içme suları, maden suları ve tıbbi sularda, Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü’nün 14.04.1999 Tarih ve 4403 sayılı “Doğal Kaynak, Maden ve İçme Suları ile Tıbbi Suların İstishali, Ambalajlanması ve Satışı” yönetmeliği hükümleri geçerli olmaktadır. Halihazırda piyasada bulunan ti-

cari içme suyu olarak tüketilen ambalajlı sular, yönetmelik gereği ilk çıktığı haliyle temiz ve sağlıklı olmak zorundadır. Ticari içme suları için bu yönetmelikteki kriterler uyarınca verilen ruhsat halk sağlığı açısından bir risk taşımadıkları yönünde bir güvencenin var olduğunu ifade etmekle birlikte sıkı denetim altında olduğu var sayılan bu suların genel durumun ne olduğu açık değildir. Diğer taraftan, şebeke suyunun geçtiği ortamlar dikkate alınırsa musluk suyunun içme suyu kalitesi koruyup korumadığı da belirsizlik içermektedir. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), Avrupa Birliği (EU) ve Türk Standartları Enstitüsü, TSE 266 İçme Suyu Standardı’nda belirtilen parametreler ve ilgili sınır değerler Tablo 1’de verilmiştir. Bu parametreler, bulanıklık, birincil standartlar (mikrobiyolojik, dezenfeksiyon yan ürünleri, inorganik kimyasallar ve radyolojik), ikincil standartlar (pH, estetik ve koku yapan maddeler) ve ilave parametreler (sertlik, serbest klor ve amonyak) olarak sınıflandırılmaktadır.

Avrupa Birliği ile entegrasyon sürecinde olan ülkemiz için AB İçme Suyu Direktifi (1998) büyük önem taşımaktadır. Bu direktif uyarınca musluk suyu kalitesi için bakteriyolojik ve kimyasal kalite standartlarının muslukta sağlanması, tüketicilerin bilgilendirilmesi ve içme suyu kalitesinin düzenli olarak izlenip raporlanması gerekmektedir. Bu bağlamda İstanbul bölgesi su kalite raporları İSKİ internet sitesi aracılığı ile yayımlanmaktadır.

Su kaynaklı sağlık problemlerinin önemli bir kısmı mikrobiyolojik (bakteriyolojik, viral, protozoik ve diğer biyolojik) bulaşmalardan kaynaklanmaktadır. İçme suyunun mikrobiyolojik güvenirliliğinin korunması ancak kaynaktan tüketiciye kadar çeşitli arıtma aşamaların uygulanması ile mümkün olabilmektedir. Dezenfeksiyon, mikrobiyal patojenlerin yok edilmesi amacı ile uygulanan en önemli süreçtir. Bu amaçla, kimyasal dezenfektanların kullanılmasının bazı toksik özellikte kimyasal “dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ)” oluşumuna neden olduğu bilinmektedir (Rook, 1974). Ancak DYÜ’lerin oluşumuna engel olabilmek amacı ile dezenfeksiyon sürecinin önemi üzerinde tartışma yaratmak yanlış bir yaklaşımdır.

Tablo 1. Şebeke suyu örneklerinin genel kalite parametreleri

Parametre	TSE 266 (2005)	WHO (1999)	USEPA (2002)	EC (1998)
Bulanıklık	25	5	1	1
Birincil Standartlar (Mikrobiyolojik), EMS/100 mL				
Koliform Bakteri	<1	0	<1	0
Birincil Standartlar (Dezenfeksiyon yan ürünleri), µg/L				
Toplam Trihalometanlar	-	460	80	100
Bromat	-	25	10	10
Birincil Standartlar (İnorganik kimyasallar), mg/L				
Nitrat	50	50	45	50
Florür	1.5	1.5	0.7-2.4	1.5
Alüminyum	0.20	0.20	0.20	0.20
Arsenik	0.05	0.05	0.05	0.01
Baryum	0.3	0.7	1	-
Kadmiyum	0.005	0.005	0.01	0.005
Krom (Toplam)	0.05	0.05	0.05	0.05
Kurşun	0.05	0.05	0.05	0.01
Civa	0.001	0.001	0.002	0.001
Selenyum	0.01	0.01	0.01	0.01
Gümüş	0.01	-	0.05	-
Antimon	0.01	0.005	0.006	0.005
Berilyum	-	-	0.004	-
Birincil Standartlar (Radyolojik), pCi/L				
Gross Alfa	1	2.7	1.5	-
Gross Beta	10	27	50	-
İkincil Standartlar (Estetik)				
Toplam Çözülmüş Madde, mg/L	1500	1000	500	-
Renk (Birim)	20	15	15	-
pH	6.5-9.2	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-9.5
Deterjanlar, mg/L	0.2	-	0.5	-
Klorür, mg/L	600	250	250	250
Sülfat, mg/L	250	250	250	250
Bakır, mg/L	3	-	1	2
Demir, mg/L	0.2	-	0.3	0.2
Mangan, mg/L	0.05	0.5	0.05	0.05
Çinko, mg/L	5	-	5	-
Koku yapan maddeler, µg/L				
Geosmin / MIB	-	-	-	-
İlave Parametreler, mg/L				
Sertlik (CaCO ₃ olarak)	-	500	-	-
Kalsiyum	200	-	-	-
Magnezyum	50	-	-	-
Potasyum	12	-	-	-
Sodyum	175	200	-	200
Serbest Klor	0.5	5	-	-
Amonyum	0.5	1.5	-	1.5

Dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumu uygulamada kullanılan dezenfektan kadar suda bulunan doğal organik maddelerin kimyasal ve yapısal özelliklerine de bağlıdır (Uyguner vd.,

2006). Bu nedenle, gerek şebeke sularında gerekse şişe sularında bulunan organik maddelerin derişimi ve yapısal özellikleri önem arz etmektedir.

Bu araştırmada, İstanbul ili içerisinde bulunan farklı havzalardan beslenen şebeke suları ile ticari içme sularının özellikleri genel kalite parametreleri ve organik madde derişimleri özellikle spektroskopik özellikler açısından karşılaştırılmış ve elde edilen veriler ışığında bir değerlendirme yapılmıştır.

Materyal ve yöntem

İstanbul ili Anadolu ve Avrupa yakalarına bağlı bulunan değişik yerleşim alanlarından farklı bölgeleri temsil niteliği taşıyabilecek şekilde rastgele şebeke suyu örnekleri alınmış ve bunlar S1-S10 olarak tanımlanmıştır. İstanbul bölgesine şebeke suyu sağlayan en önemli arıtma tesisleri ve su verdiği ilçeler dikkate alındığı takdirde S1-S10 örneklerinin dağılımı Tablo 2'de verildiği gibidir.

Tablo 2. Şebeke suyu örneklerinin su arıtma tesisleri, beslendiği kaynaklar ve su verdiği ilçelere göre dağılımı

Örnek	Su Verdiği İlçeler	Arıtma Tesisi	Beslendiği Kaynaklar
S1	Beşiktaş	Kağıthane	Terkos, Alibeyköy
S2	Bostancı	Ömerli	Ömerli, Darlık
S3	Üsküdar	Elmalı	Elmalı
S4	Şişli	Kağıthane	Terkos, Alibeyköy
S5	Kadıköy	Ömerli	Ömerli, Darlık
S6	Ümraniye	Ömerli	Ömerli, Darlık
S7	Sarıyer	Kağıthane	Terkos, Alibeyköy
S8	Bağcılar	İkitelli	Sazlıdere
S9	Maltepe	Ömerli	Ömerli, Darlık
S10	Kilyos	Kağıthane	Terkos, Alibeyköy

İstanbul şehri sınırları içinde satılmakta olan 10 farklı ticari şişelenmiş içme suyu örneği alınarak; bunlar N1-N10 olarak tanımlanmıştır. Örnekleme tüketim sıklığı ve alışkanlıklarından bağımsız olarak rastgele seçilmiştir. Örneklere ait etiketlerde verilen genel su kalite parametrelerinin en az ve en çok değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Şişelenmiş bu içme sularında Tablo 3'de belirtilen özellikler arasından değerlendirmeye yöne-

lik bazı genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler seçilmiş ancak bakteriyolojik parametreler irdelenmemiştir.

Analitik yöntemler

Genel parametreler olarak her iki grup örneğe uygun olabilecek bağlamda, pH, iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), toplam sertlik ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$), toplam organik karbon, (TOK, $\text{mg C}/\text{L}$) ve çözünmüş organik karbon, (ÇOK, $\text{mg C}/\text{L}$) seçilmiştir. Toplam sertlik ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$) EDTA titrasyon metodu (APHA/AWWA/WPCP, 1998) ile ölçülmüştür. Buna ek olarak pH ve iletkenlik ölçümleri WTW pH 526 pHmetre ve WTW LF 320 iletkenlikölçer ile yapılmıştır.

Test edilen suların içerdiği toplam organik karbon ve çözünmüş organik karbon miktarları, otomatik bir numune alıcı ile donatılmış bilgisayar kontrollü Shimadzu VWP TOC 5000 cihazıyla ölçülmüştür. Cihazın kalibrasyonu standart potasyum hidrojen fitalat (KHP) çözeltisi kullanılarak yapılmış ve kalibrasyon aralığı 0.1 mg/L ile 5 mg/L olarak seçilmiştir. Bu cihaz ıslak oksidasyon/non-dispersif kızılötesi tanımlama (NDIR) sistemiyle çalışıp; toplam karbon için 0 ile 3000 mg/L , inorganik karbon içinse 0 ile 2500 mg/L aralığındaki örnekleri 0.5 $\mu\text{g}/\text{L}$ hassasiyetle okuyabilmektedir. İçme sularının içerdiği organik madde miktarının düşüklüğü nedeniyle tayin hassasiyeti son derece düşük olan bu TOK analiz cihazı seçilmiştir. ÇOK değerleri, örneklerin 0.45 μm gözenek aralığına sahip steril mikro-filtreler vasıtasıyla süzülüp organik madde miktarının ölçülmesiyle elde edilmiştir.

Spektroskopik yöntemler

Ultraviyole/görünür bölge (UV/vis) ve floresans spektroskopisi kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. UV/vis spektrumları, çift ışıklı, Perkin-Elmer Lambda 35 spektrofotometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. 200-450 nm dalgaboyu ölçüm aralığında örneklerin absorbanları kaydedilmek suretiyle spektrumlar elde edilmiştir. Tüm spektroskopik yöntemler için örneklerin spektrumları ultrasaf suya (Millipore, Milli-Q Gradient, iletkenliği 18,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$) karşı düzeltilerek okunmuştur.

Tablo 3. Şişe sularına ait etiketlerde verilen genel kalite parametrelerinin en az ve en çok değerleri

Parametre	En az-en çok değerler	Parametre	En az-en çok değerler
Renk, Pt/Co	0-4	Sodyum, mg/L	0-2.0
Bulanıklık, NTU	0-1	Kalsiyum, mg/L	0.8-28.4
Amonyak, mg/L	0	Magnezyum, mg/L	0.39-4.7
Nitrit, mg/L	0	Toplam Sertlik, mg CaCO ₃ /L	5-85
Nitrat, mg/ L	0.57-7.92	Toplam Fenolik Madde, mg/L	0
Klorür, mg/L	0.15-15	pH	6.3-8.1
Florür, mg/L	0.03-0.5	Organik madde için sarfedilen O ₂ miktarı, mg/L	0.3-2.13
Sülfat, mg/L	2.25-11.8	Koliform bakteriler	0
Jerm sayısı 22 °C, 72 saat	0	Pseudomonas	yok
Jerm sayısı 37 °C, 48 saat	0	Fekal streptokok	yok

Örneklerin floresans spektrumları emisyon ve senkron tarama metoduyla, 150W Xenon ark lambalı, kızıl-hassas fotoçoğaltıcılı tüple donatılmış, Perkin-Elmer LS 55 Luminesans Spektrometre cihazı ile yapılmıştır. Emisyon spektrumları, 350 nm sabit dalga boyunda uyarılan örneklerin 400-600 nm dalga boyu aralığında floresans yoğunluğu (F.Y) kaydedilmek suretiyle çıkartılmıştır. Senkron taramayla elde edilen spektrumlar ise, uyarılma ve emisyon monokromatörleri arasındaki dalga boyu farkı ($\Delta\lambda$) 18 nm olacak şekilde, 200-600 nm uyarım dalga boyu aralığındaki floresans yoğunluklarını kaydetmek suretiyle elde edilmiştir.

Deneysel çalışma sonuçları

Deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen bulgular, örneklerin kaynağı esas alınarak iki kısımda incelenmiş ve karşılaştırılmalı olarak tartışılmıştır. Bu amaca yönelik olarak öncelikle genel kalite parametreleri daha sonra ilgili spektroskopik veriler irdelenmiştir.

Şebeke suyu örneklerinin genel kalite parametreleri açısından değerlendirilmesi

Şebeke suyu örnekleri üzerinde genel kalite parametreleri olarak tanımlanmış bulunan pH, iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), toplam sertlik (mg CaCO₃/L), toplam organik madde (mg C/L) ve çözünmüş organik madde (mg C/L) analizleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 4).

Ayrıca karşılaştırma amacı ile, İSKİ tarafından internet sitesi aracılığı ile yayımlanan su kalite raporları incelenip, 2006 yılına ait seçilmiş parametrelerin en az, en çok değerleri ve yıllık ortalama değerleri derlenerek Tablo 5’de verilmiştir. Koliform bakteri sayımı ise tüm örneklerde 0 EMS/100 mL olarak bildirilmiştir.

Tablo 4’te belirtildiği gibi şebeke sularından alınan örneklerde saptanmış bulunan pH değerleri 6.87-7.41 arasında değişmektedir.

Tablo 4. Şebeke suyu örneklerinin genel kalite parametreleri

Örnek	pH	İletkenlik $\mu\text{S}/\text{cm}$	Toplam Sertlik mg CaCO ₃ /L	TOK mg C/L	ÇOK mg C/L
S1	7.03	338	136	2.99	2.71
S2	7.32	365	182	3.88	2.28
S3	7.28	351	176	3.58	2.33
S4	7.34	467	188	4.41	3.46
S5	7.32	352	175	3.32	2.23
S6	7.27	381	188	2.93	2.49
S7	7.41	258	102	1.97	2.05
S8	7.07	357	140	3.68	3.66
S9	6.99	300	134	2.37	2.39
S10	6.87	416	164	2.05	1.86
En az	6.87	258	102	1.97	1.86
En çok	7.41	467	188	4.41	3.66
Ortalama	-	358.5	158.5	3.12	2.55

Sulardaki iletkenlik, suyun elektrik iletme kapasitesini gösterip, suda bulunan toplam çözünmüş madde miktarına işaret eden genel bir parametre olarak kabul edilebilmektedir. Toplam çözünmüş katılar başlıca inorganik tuzlar (başta kalsiyum ve magnezyum olmak üzere, potasyum, sodyum, bikarbonatlar, klorür ve sülfatlar) ve suda az miktarda çözünmüş organik maddelerden oluşmaktadır. Sulardaki toplam çözünmüş madde (TÇM) doğal kaynaklı olabileceği gibi, genellikle kanalizasyon, yağmur suyu, endüstriyel atıksu ve su arıtımında kullanılan kimyasallardan, ya da şebeke sisteminde kullanılan boruların kalitesi ve yapısından kaynaklanabilmektedir. İçme suyunda iletkenlik ölçümleri, çözünmüş iyon miktarıyla ilgili kalitatif bir ölçüt sağlamakta, ancak iyonların özellikleri ve birbirleri arasında oluşabilen reaksiyonlar hakkında bilgi vermemektedir. Şebekeden alınan su örneklerinin iletkenlik ölçümleri 258–467 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerleri arasında değişim sergilemektedir. Bu değerler TSE, WHO ve EPA tarafından belirlenen sınır değerlerin içinde olmakla birlikte en yüksek değer S4 örneğinde gözlenmiştir. Örneklerdeki sertlik parametresi 102-188 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ arasında değişim göstermektedir. Tablo 5'ten de görülebileceği gibi yıllık ortalamaların 80.2-169 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ arasında değiştiği göz önüne alındığında sertlik derecesindeki bu değişimlerin örnekleme zamanı ile ilgili olabileceği düşünülmektedir.

Şebeke suları için TOK değerleri 1.97-4.41 mg C/L ve ÇOK değerleri ise 1.86-3.66 mg C/L arasında değişmektedir. En çok TOK değeri S4 örneğinde saptanmış olmakla birlikte en büyük ÇOK değeri S8 örneğinde bulunmuştur. Her iki örneğin de değişik bölgelerden alınmış olduğu düşünüldüğünde, ölçülmüş değerler arasındaki bu farklılığın havzaların genel özelliklerinden kaynaklanabileceği düşünülebilmektedir (Tablo 2).

Toplam organik karbon değerleri sularda bulunan organik madde yükünün bütünsel ifadesi olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte ÇOK, işlevsel (operasyonel) olarak 0.45 μm 'den küçük olan tüm organik maddeler olarak tanımlanmaktadır (Silveira, 2005). Sanal ortamda yayımlanmış olan İSKİ raporları TOK veya ÇOK değerlerini kapsamamaktadır. Buna karşılık şebeke sularının dezenfeksiyon amacıyla klorlanması sonucu önem kazanan serbest klor (mg/L), koliform bakteri sayımı ve toplam trihalometan (THM, $\mu\text{g/L}$) ölçümleri rapor edilmektedir (Tablo 1 ve Tablo 5). Bu bağlamda ÇOK değerlerini elde etmek için kullanılan filtrasyon işleminin su bünyesinde bulunabilecek mikrobiyolojik kaynaklı kirleticileri uzaklaştırdığı da düşünüldüğünde aradaki farkın biyolojik içerikli kirlenmeye işaret ettiği ve koliform bakteri sayımıyla dolaylı olarak ilişkilendirilebilir nitelikte olduğu söylenebilmektedir. Doğal organik maddelerin aktif klor ile reaksiyonu sonucu oluşan ve kanserojenik özellikleri bilinen başlıca dezenfeksiyon yan ürünleri olan THM miktarlarına dünya çapında sınırlamalar getirilmiştir (Tablo 1). Tablo 5' de belirtilen ve yıl boyunca izlenen THM değerleri ortalamasının bu sınırlamaların oldukça altında seyrettiği saptanmıştır. Diğer taraftan, 2005 yılında yapılan bir çalışmada (Bekbölet vd., 2005) Ömerli ve Büyükçekmece baraj göllerinden beslenen şebeke suyunda, yine aynı çalışmada sergilenen İtalya Alento bölgesi örneğine (75,6 $\mu\text{g/L}$) kıyasla yaklaşık iki misli yüksek THM değerleri saptanmıştır (sırasıyla: 159.4 $\mu\text{g/L}$ ve 128.5 $\mu\text{g/L}$). Her iki baraj gölüne ait şebeke sularının, dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşum kapasitesine göre değerlendirilmeleri durumunda, gerek yıl boyunca gösterdiği salınımlar gerekse yıllık ortalama THM değerleri açısından bu değerlerin oldukça düşük düzeyde olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 5). Dezenfeksiyon yan ürünlerinin sınır değerlerin altında bulunması ve koliform bakteri sayımının tüm örneklerde 0 EMS/100 mL olarak rapor edilmiş olması etkin bir dezenfeksiyon işleminin gerçekleştirildiğini göstermektedir.

Dezenfeksiyon yan ürünlerinin sınır değerlerin altında bulunması ve koliform bakteri sayımının tüm örneklerde 0 EMS/100 mL olarak rapor edilmiş olması etkin bir dezenfeksiyon işleminin gerçekleştirildiğini göstermektedir. Ancak, doğal organik maddelerin derişimi, giderimi ve yapısal değişimleri üzerine bilgi verememektedir. Kaba bir yaklaşımla şebeke sularının arıtılması sırasında doğal organik madde miktarındaki etkili azalmaya paralel olarak THM miktarlarında gözlenebilir bir düşüşün sergilendiği söylenebilmektedir.

Dezenfeksiyon yan ürünlerinin sınır değerlerin altında bulunması ve koliform bakteri sayımının tüm örneklerde 0 EMS/100 mL olarak rapor edilmiş olması etkin bir dezenfeksiyon işleminin gerçekleştirildiğini göstermektedir. Ancak, doğal organik maddelerin derişimi, giderimi ve yapısal değişimleri üzerine bilgi verememektedir. Kaba bir yaklaşımla şebeke sularının arıtılması sırasında doğal organik madde miktarındaki etkili azalmaya paralel olarak THM miktarlarında gözlenebilir bir düşüşün sergilendiği söylenebilmektedir.

Tablo 5. İstanbul ili arıtma tesisi çıkışı su kalite parametrelerine ait yıllık değişim ve ortalama değerler (İSKİ, 2006)*

Arıtma Tesisi	pH	Bulanıklık NTU	Toplam Sertlik mg CaCO ₃ /L	Serbest klor, mg Cl ₂ /L	Toplam THM µg/L
Büyük Çekmece	7.25-7.40	0.2-0.4 (0.23)	147-194 (169)	1.0-1.5 (1.13)	22.5-60 (45.4)
İkitelli	7.10-7.50	0.2-0.4 (0.28)	110-145 (128)	1.0-1.5 (1.11)	19.5-39.3 (25.8)
Kağıthane	7.00-7.40	0.1-0.3 (0.18)	130-164 (145)	0.90-1.4 (1.10)	8.9-30.4 (19.4)
Ömerli	6.80-7.20	0.3-0.7 (0.38)	97-165 (119)	0.8-1.6 (1.10)	17.5-40.1 (28.6)
Emirli	6.50-6.80	0.2-0.6 (0.37)	69-117 (80.2)	0.7-1.6 (1.05)	14.4-25.5 (20.2)
Orhaniye	6.70-7.00	0.2-0.6 (0.38)	68-124 (81.3)	0.9-2 (1.27)	4.2-37.3 (20.3)
Ömerli	6.70-7.40	0.2-0.6 (0.37)	101-131 (111)	0.7-1.4 (0.98)	19-39.7 (29.1)

* Değerler en az-en çok şeklinde ve parantez içinde ise ortalama değer olarak verilmiştir.

Şişe suyu örneklerinin genel kalite parametreleri açısından değerlendirilmesi

Şehirde sıklıkla tüketilen şişe suları, geniş pazar payından dolayı, çoğunlukla yerel su kaynaklı olmaktan uzaktır. Tüketilen suların büyük çoğunluğu antropojenik etkilerden uzak, kaynak sularından kaptajlama yoluyla elde edilip ilave bir arıtım görmeksizin şişelenmiş suları teşkil etmektedir. Buna ek olarak, son yıllarda piyasaya kaynak menşeli olmayan ancak sırasıyla, çok aşamalı filtrasyon, ultraviyole (UV) ışıkla arıtım, ters osmoz, aktif karbon filtrasyonu, son filtrasyon ve ozonlama işlemlerinden geçirilerek temizliği güvence altına alınan sular da katılmıştır. Karşılaştırma amacıyla, piyasadan toplanan şişe suyu örnekleri için pH, iletkenlik, toplam sertlik ve çözünmüş organik madde içeriği sonuçları en az, en çok ve ortalama değerler olarak tabloda verilmiştir (Tablo 6).

Piyasada sık rastlanan şişe sularına ait ölçülen değerlerin gerek Türk Standartları Enstitüsü TS 266 (2005), gerekse dünya çapında içme suyu standartlarını belirleyen kurumlarca belirlenen limit değerler (WHO; EPA ve EC) çerçevesinde bulunduğu gözlenmiştir. Adı geçen tüm standartlarda içme sularına ilişkin pH aralığı 6.5 alt sınırında verilirken bu parametre ile ilgili en üst sınır Avrupa topluluğu tarafından 9.5 olarak be-

lirlenmiştir. İncelenen içme sularının bu sınır değerler içinde kaldığı gözlenmekle birlikte; N7 örneği için pH en yüksek değerde tespit edilmiş olup, bunu N3 ve N10 su örnekleri takip etmiştir. Bu sular için bulunan toplam sertlik değerleri pH değerlerine nazaran daha yüksek bir salınım gösterirken, örnekler arasında % 90'ı bulan farklılıklara rastlanmıştır. Şişe suyu örneklerinde toplam sertlik miktarları en çok 92 mg CaCO₃/L olarak şebeke suyu örneklerine göre % 50 daha az bulunmaktadır.

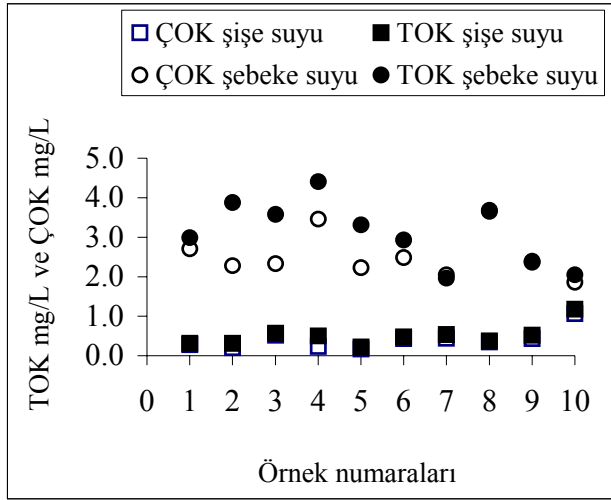
Şişe suyu örneklerine ait iletkenlik ölçümleri grup örnek içinde oldukça farklı düzeyde değişim göstermektedir. Ancak her iki grup örnek sonuçları karşılaştırıldığında, şebeke suyu örneklerinin ortalama değerlerinin içme suyu örnekleri için saptanmış bulunan en çok değere yakın bulunduğu saptanmıştır (Tablo 4 ve Tablo 6). Bu nedenle, diğer su kalite parametreleri ile karşılaştırılabilir bir açıklama getirilememektedir.

Yapılan çözünmüş organik madde ölçümlerinde, en çok TOK değeri N10 örneğinde, en az ise N5 örneğinde saptanmıştır. Buna paralel olarak en yüksek ÇOK değeri yine N10 örneği için 1.07 mg C/L ve en düşük ÇOK değeri ise yine N5 örneği için 0,167 mg C/L bulunmuştur.

Tablo 6. Şişe suyu örneklerinin genel kalite parametreleri

Örnek	pH	İletkenlik μS/cm	Toplam sertlik mg CaCO ₃ /L	TOK mg C/L	ÇOK mg C/L
N1	7.12	68.9	32	0.313	0.279
N2	6.99	13.5	12	0.315	0.204
N3	7.41	178	92	0.571	0.523
N4	6.77	26.3	24	0.508	0.236
N5	6.80	23.8	20	0.224	0.167
N6	7.18	124	56	0.477	0.434
N7	7.55	60.3	72	0.539	0.448
N8	6.96	112	32	0.374	0.354
N9	6.92	114	50	0.523	0.436
N10	7.39	328	52	1.18	1.07
En az-En çok değer	6.77 -7.55	13.5- 328	12-92	0.224-1.18	0.167-1.07
Ortalama değer	-	105	44	0.502	0.415

Tüm örneklere ait TOK ve ÇOK miktarlarının değişimlerinin incelenmesi sonucu şişe suyu örneklerinin şebeke suyu örneklerine nazaran çok daha düşük seviyede organik madde içerdikleri anlaşılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Tüm su örneklerine ait TOK (mg/L) ve ÇOK (mg/L) değerleri

Şişe suyu için örnekler arası değişimler fazla olmamakla birlikte şebeke sularında gerek örnekler arası gerekse TOK ve ÇOK değerleri arasında oldukça önemli derecede farklılıklar saptanmıştır. TOK ve /veya ÇOK değerlerinin oluşabilecek DYÜ potansiyeli ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. Ancak, nicel sonuçlara dayanarak doğrudan yorum yapılabilmesi, çok örnekli ve işletme parametrelerinin de dikkate

alındığı matematiksel modellerin uygulanması ile gerçekleştirilebilmektedir.

Buna karşılık organik maddelerin yapısal özelliklerinin incelenmesi DYÜ oluşum reaktivitelerine farklı bir bakış getirmektedir. Bu amaçla, UV/görünür bölge spektroskopisi ve floresans spektroskopisi kullanılarak ölçümler yapılmıştır.

Şebeke suyu ve şişe suyu örneklerinin spektroskopik parametreler açısından değerlendirilmesi

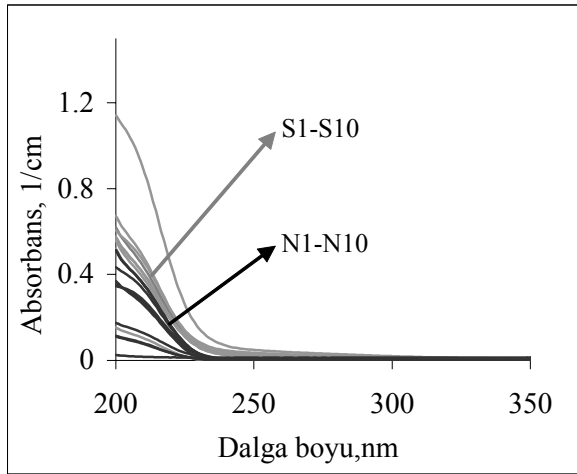
Tüm su örneklerinin UV/görünür bölge ve floresans spektrumları incelenmiştir.

UV/görünür bölge spektroskopisi

Tüm spektrumların genel yapısı doğal organik maddeleri temsilen kullanılan hümik ve fulvik asitlerin UV/vis spektrumlarına eşdeğer görünüm sergilemektedir (Uyguner ve Bekbolet, 2005a) (Şekil 2).

Örneklerin genelde renk içermemeleri, 350 nm'den sonra belirgin bir absorpsiyon değerinin saptanamaması ile açıklanabilmektedir. Şebeke ve içme sularının 200-800 nm dalga boyu aralığında alınan UV/görünür bölge spektrumlarında 235 nm'den itibaren bir hareketliliğe rastlanmamakla beraber 200-235 nm aralığındaki sıralama genelde ÇOK değerlerine paralel olarak bir azalmayı takip etmektedirler (Şekil 2). Kümulatif olarak bakıldığında, şebeke sularının

200-235 nm aralığındaki absorbans değerlerinin, ticari içme suları ile karşılaştırıldığında, yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2. Şebeke ve şişe suyu örneklerinin UV/görünür bölge spektrumları

Tablo 7. Su örnekleri için UV_{220} (1/cm) ve $SUVA_{220}$ (mg/L cm) değerleri

Örnek	UV_{220} 1/cm	$SUVA_{220}$ L/mg cm	Örnek	UV_{220} 1/cm	$SUVA_{220}$ L/mg cm
S1	0.211	0.078	N1	0.129	0.46
S2	0.212	0.093	N2	0.014	0.069
S3	0.194	0.083	N3	0.117	0.22
S4	0.441	0.13	N4	0.342	1.45
S5	0.187	0.084	N5	0.0352	0.21
S6	0.233	0.094	N6	0.149	0.34
S7	0.232	0.11	N7	0.0621	0.14
S8	0.186	0.051	N8	0.159	0.45
S9	0.0428	0.018	N9	0.115	0.26
S10	1.01	0.54	N10	0.158	0.15

Doğal sularda bulunan organik maddelerin derişimini ifade edebilmek için 254 nm dalga boyunda ölçülen absorbans değeri (UV_{254} , 1/cm) eşdeğer bir parametre olarak kullanılabilir. Ancak, örneklerin 254 nm dalga boyunda önemli ve karşılaştırılabilir derecede absorbans değeri vermemeleri nedeni ile ($UV_{254} < 0.010$ 1/cm) tüm su örnekleri için ultraviyole bölgede 220 nm dalga boyunda saptanmış bulunan absorbans değerleri (UV_{220} , 1/cm), Tablo 7’de verilmiştir. Ayrıca Spesifik Ultraviyole absorbansı ($SUVA_{254}$, UV_{254} /organik madde miktarı, L/mg cm) tanımına bir yaklaşım olarak

$SUVA_{220}$ (L/mg cm) değerleri hesaplanarak ifade edilmişlerdir (Tablo 3).

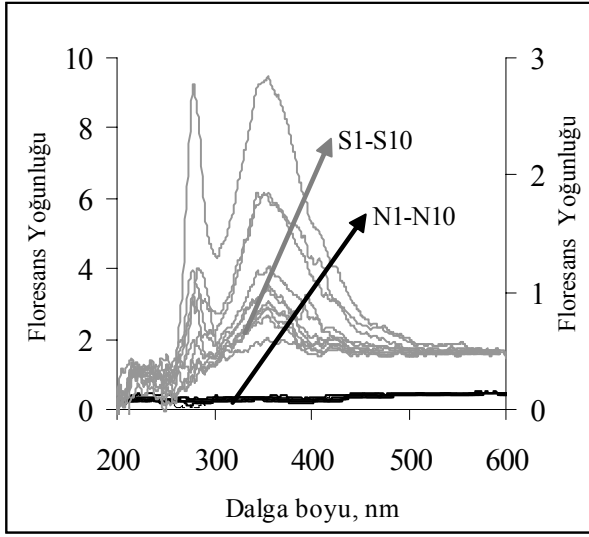
$SUVA_{254}$ (L/mg m) değerlerinin 4’den büyük olması durumunda organik yapının hidrofobik, 3’ten küçük olması halinde ise daha çok hidrofilik özellikte olduğu ifade edilmektedir (Kitiş vd., 2001, Uyguner ve Bekbölet, 2005 a). $SUVA_{254}$ değerinin yüksek olması aynı zamanda dezenfeksiyon işlemi sırasında doğal organik maddelerin daha fazla reaktivite gösterdiğini belirtmektedir. Ancak, gerek UV_{220} (1/cm) gerekse $SUVA_{220}$ (L/mg cm) değerlerinin yorumlanması konusunda tüm örneklerde bulunabilecek nitrat gibi aynı dalga boyu bölgesinde absorbans verebilecek bileşenlerin olası girişimi göz önünde bulundurulmalıdır.

Floresans Spektroskopisi

Sağladığı yüksek orandaki çözünürlük ve pik ayırımı sayesinde özellikle kimyasal niteliği bilinmeyen çözeltilerin analizinde senkron taramalı floresans spektroskopisi ayrıntılı sonuçlar vermektedir (Senesi, 1990; Santos vd., 2001; Peuravuori vd., 2002). Literatürde doğal sularda ve doğal sularda bulunan organik maddelere model maddeler olarak kabul edilen hümit ve fulvik asitlerin yapısal özelliklerine yönelik floresans spektroskopisi yönteminin uygulandığı araştırmalar bulunmaktadır (Marhaba ve Kochar, 2000; Li ve Korshin, 2002, Uyguner ve Bekbölet, 2005b).

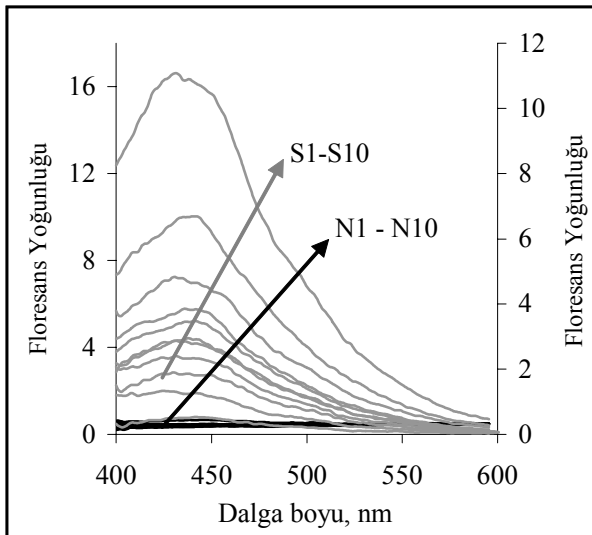
Şebeke ve şişe suyu örneklerinde yapılan floresans senkron tarama ile elde edilen emisyon spektrumları arasında, kümülatif açıdan bakıldığında, şişe sularında önemli derecede bir hareketliliğe rastlanmamakla beraber, şebeke sularından alınan örneklerde başlıca 280 nm ve 356 nm aralığında olmak üzere pik değerler görülmektedir (Şekil 3). Senkron tarama için seçilen dalga boyu aralığının ($\Delta\lambda$) 18 nm olduğu göz önünde bulundurulduğunda, musluk sularının uyarıldığı dalga boyu olan 262 nm, 254-280 nm aralığına karşılık gelmektedir. Fenolik maddeler, anilin türevleri, benzoik asitler, polienler ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar için $\pi \rightarrow \pi^*$ geçişlerinin bu aralıkta gerçekleştiği (Chin vd., 1994; Gauthier vd., 1987) düşünüldüğünde, 262

nm dalga boyunda uyarılan suların verdiği emisyon piklerinin, içme sularındaki organik maddelerin farklı floroforlarına işaret ettiği söylenebilir.



Şekil 3. Şebeke ve şişe suyu örneklerinin senkron tarama floresans spektrumları

Öte yandan, şebeke sularının 350 nm'de uyarılması sonucu elde edilen spektrumlar (Şekil 4), doğal organik maddeler için literatürde verilmiş olan (Uyguner vd., 2007) spektrumlara benzeyen geniş, hareketsiz ve yaklaşık 450 nm'de belirli bir pik yüksekliğine sahip profiller vermiştir.



Şekil 4. Şebeke ve şişe suyu örneklerinin emisyon floresans spektrumları

Bu spektrumlar senkron spektrumlarda olduğu gibi farklı dalga boylarında pikler vermemekle beraber, şişe suları için elde edilen emisyon spektrumlarıyla karşılaştırıldığında, senkron taramalı spektrumlarda olduğu gibi ÇOK ölçüm sonuçlarıyla örtüşen bir sıralama verebildiği görülmektedir. Şebeke suyu numunelerinin senkron taramalı spektrumlarında vermiş oldukları 280 ve 356 nm dalga boylarındaki azalan yoğunlukları için gözlenen sıralamanın, ÇOK değerlerindeki azalmayla paralellik göstermesi bu dalga boylarının organik kaynaklı bileşenleri belirlemede önemli olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, içme suyu analizinde senkron taramalı floresans spektroskopisi uygulamalarında bu dalga boylarının metodolojik bir öneme sahip oldukları da söylenebilmektedir.

Bazı örneklerin (S4, S9 gibi) 350 nm'de uyarılmış emisyon spektrumlarında 450 nm'de vermiş oldukları floresans yoğunlukları, senkron tarama ile elde edilen yoğunluk değerleriyle paralellik göstermektedir. İncelenen şişe sularının emisyon spektrumlarının floresans yoğunluğu değerlerinin uygulanan yöntemle bağlı olmaksızın dar bir aralıkta değişim gösterdiği saptanmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Şişe suyu örneklerinin pik dalga boylarındaki floresans yoğunlukları

Örnek	Emisyon F.Y. (450 nm)	Senkron Tarama F.Y. (280 nm)	Senkron Tarama F.Y. (356 nm)
N1	0.363	0.069	0.330
N2	0.405	0.344	0.234
N3	0.514	0.592	0.358
N4	0.380	0.105	0.259
N5	0.421	0.117	0.243
N6	0.447	0.069	0.330
N7	0.478	0.196	0.345
N8	0.654	0.328	0.375
N9	0.383	0.326	0.295
N10	0.387	0.217	0.284

Buna karşın, Tablo 9'da verilen senkron taramalı emisyon spektrumlarında hem 280 nm hem de 356 nm dalga boylarında saptanan floresans yoğunluğu değerleri şebeke suyu örneklerinde sap-

tanmış olan değerlerden farklı olmakla birlikte karşılaştırılabilir seviyede bulunmuştur.

Tablo 9. Şebeke suyu örneklerinin pik dalga boylarındaki floresans yoğunlukları

Örnek	Emisyon F.Y. (450 nm)	Senkron Tarama F.Y. (280 nm)	Senkron Tarama F.Y. (356 nm)
S1	6.19	0.500	1.85
S2	2.64	0.561	1.03
S3	2.22	0.909	0.859
S4	10.4	2.74	2.84
S5	2.68	0.325	0.918
S6	3.65	1.12	1.22
S7	4.41	0.831	1.79
S8	3.26	0.301	1.06
S9	1.82	0.238	0.799
S10	1.16	0.373	0.373

Sularda bulunan organik maddelerin nicel oranlarına bağlı olmaksızın nitel olarak benzeşim gösterebildikleri ve farklı spektroskopik analiz yöntemleri ile değerlendirilebileceği anlaşılmaktadır.

Sonuçlar

Bu çalışmada, İstanbul ili içerisinde farklı su kaynaklarından beslenen şebekeleri temsil etmek üzere rastgele alınan su örnekleriyle, yine İstanbul ili bölgesinde satılmakta olan ticari şişe suları genel su kalite parametreleri ve spektroskopik özellikler açısından incelenmiş ve ortaya çıkan profilin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Ticari amaçlı satılan şişe sularının genel olarak kalite parametrelerine büyük uyum gösterdiği gözlenmiş ve şebeke suyu ile ilgili yapılan kıyaslarda büyük ölçüde şahit özelliği gösterebileceği anlaşılmıştır. Örneklerin spektroskopik incelenmesi, özellikle floresans spektroskopisindeki farklı teknik yaklaşımların organik bileşenleri belirlemede önemli olduğu anlaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP 05S103 ve 06S106 kodlu projeler ile desteklenmiştir. Teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- APHA/AWWA/WPCP, (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, American Public Health Association, Washington DC.
- Bekbölet, M., Uyguner, C.S., Selçuk, H., Rizzo, L., Nikolaou, A.D., Meriç S. ve Belgiorno, V., (2005). Application of oxidative removal of NOM to drinking water and formation of disinfection by-products, *Desalination*, **176**, 155-166.
- Chin, Y.P., Aiken, G., ve O'Loughlin, E., (1994). Molecular weight, polydispersity, and spectroscopic properties of aquatic humic substances. *Environmental Science and Technology*, **28**, 1853-1858.
- Gauthier, T.D., Seltz, W.R., ve Grant, C.L., (1987). Effects of structural and compositional variations of dissolved humic materials on pyrene *K*, values, *Environmental Science and Technology*, **21**, 3, 243-248.
- Kitiş, M., Karanfil, T., Kilduff, J.E. ve Wigton, A., (2001). The reactivity of natural organic matter to disinfection by-products formation and its relation to specific ultraviolet absorbance, *Water Science and Technology*, **43**, 2, 9-16.
- Li, C.W., ve Korshin, G.V., (2002). Studies of metal-binding sites in natural organic matter and their role in the generation of disinfection by-products using lanthanide ion probes, *Chemosphere*, **49**, 6, 629-636.
- Marhaba, T.F., ve Kochar, I.H., (2000). Rapid prediction of disinfection by-product formation potential by fluorescence, *Environmental Engineering and Policy*, **2**, 1, 29-36.
- Peuravuori, J., Koivikko R. ve Pihlaja, K. (2002). Characterization, differentiation and classification of aquatic humic matter separated with different sorbents: synchronous scanning fluorescence spectroscopy, *Water Research*, **36**, 4552-4562.
- Rook, J.J., (1974). Formation of haloforms during chlorination of natural waters. *Proceedings of the society for water treatment and examination*, **23**, 234-243.
- Santos, E.B.H., Filipe, O.M.S., Duarte, R.M.B.O., Pinto, H. ve Duarte A.C., (2001). Fluorescence as a tool for tracing the organic contamination from pulp mill effluents in surface waters, *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, **28**, 364-371.
- Senesi, N., (1990). Molecular and quantitative aspects of the chemistry of fulvic acid and its interactions with metal ions and organic chemicals

- Part II: The fluorescence spectroscopy approach. *Analytica Chimica Acta*, **232**, 77-106.
- Silveira, M.L.A. (2005). Dissolved organic carbon and bioavailability of N and P as indicators of soil quality, *Scientia Agricola*, **62**, 5, 502-508.
- TS 266, (2005). İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, *Türk Standartları*, Ankara.
- Uyguner, C.S. ve Bekbolet, M., (2005)a. Implementation of spectroscopic parameters for practical monitoring of natural organic matter, *Desalination*, **176**, 47-55.
- Uyguner, C.S. ve Bekbolet, M., (2005)b. Evaluation of humic acid photocatalytic degradation by UV-vis and fluorescence spectroscopy, *Catalysis Today*, **101**, 3-4, 15, 267-274.
- Uyguner C.S., Bekbolet M., ve Swietlik J., (2006). *Natural Organic Matter: Definitions and characterization*, in Nikolau, A., Rizzo, L., Selçuk, H., (Eds), *Control of Disinfection Byproducts in Drinking Water Systems*, Nova Publishers, Hauppauge NY,
- Uyguner, C.S., Suphandag, S.A., Kerc, A., ve Bekbolet, M., (2007), Evaluation of adsorption and coagulation characteristics of humic acids preceded by alternative advanced oxidation techniques, *Desalination*, **210**, 183-193.
-
- USEPA (2002). Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı. Drinking water contaminants, <http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html>, (14.03.2007)
- EC (1998). Avrupa Birliği İçme Suyu Direktifi, http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/1998/l_330/l_33019981205en00320054.pdf, (14.03.2007)
- WHO (1999). Dünya Sağlık Teşkilatı, Guidelines for drinking-water quality, http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf (16.03.2007)
- İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi <http://www.iski.gov.tr>, (5.3.2007)